ভর ত্রুটি বা ভর ঘাটতি (Mass Defect)

সংজ্ঞা: নিউক্লিয়াসের ভর এবং নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে অবস্থিত নিউক্লিয়ন গুলোর মুক্তবস্থার ভরের সমষ্টির পার্থক্যকে ভর ত্রুটি বা ভর ঘাটতি বলে। একে সাধারণত Δm দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

নিউটনের মতে ভর এবং শক্তি দুইটি আলাদা কিন্তু আইন্সটাইন বলেন যে ভর ও শক্তির মধ্যে কোনো পার্থক্য নেই। এরা একই সত্ত্বার দ্বৈত প্রকাশ।

আইন্সটাইনের আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের বিষ্ময়কর অবদান হলো ভর শক্তি সম্পর্ক, $E = mc^2$। এই তত্ত্বানুসারে নিউক্লিয়াসের এই হারানো ভরকে শক্তিরূপে পাওয়া যায়। নিউক্লিয়াসের এই ভর ও শক্তির সম্পর্কের উপর ভিত্তি করে আজকের আধুনিক নিউক্লিয়ার যুগের সুচনা হয়।

নিউক্লিয়াসের ভর ত্রুটির রাশিমালা

কোনো নিউক্লিয়াসের পারমাণবিক সংখ্যা বা প্রোটনের সংখ্যা Z ও নিউট্রনের সংখ্যা N এবং ভরসংখ্যা A। যদি প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে M_p ও M_n হয়, তবে নিউক্লিয়াসের মোট বা স্থায়ী নিউক্লিয়াসের ভর তথা নিউক্লিয় ভর M_{nuc} হলে—

M_{nuc} = প্রোটনের ভর + নিউট্রনের ভর

বা, $M_{nuc} = ZM_p + NM_n$ ————————(1)

বা, $M_{nuc} = ZM_p + (A - Z) M_n$ ——————(2)

অর্থাৎ স্থায়ী নিউক্লিয়াসের ভর = উপাদানসমূহের মুক্তাবস্থার ভর।

আবার মৌলের পারমাণবিক ভর M_{atm} এবং একটি ইলেক্ট্রনের ভর M_e ও পারমাণবিক সংখ্যা বা প্রোটন সংখ্যা Z হলে—

মৌলের নিউক্লীয় ভর = মৌলের পারমাণবিক ভর – মোট ইলেকট্রনের ভর

বা, $M_{nuc} = M_{atm} - ZM_e$ ——————(3)

হাইড্রোজেন বা প্রোটিয়ামের নিউক্লিয়াস ও কক্ষপথে একটি করে প্রোটন ও ইলেক্টন থাকায় এর পারমাণবিক ভর M_H হলে—

$M_H = M_p + M_e$ ——————(4)

কিন্তু কোনো স্থায়ী নিউক্লিয়াসের ভর তার গঠনকারী উপাদানসমূহের মুক্তাবস্থার ভরের সমষ্টি অপেক্ষা কিছুটা কম হতে দেখা যায়। ভরের এই পার্থক্যকে ভর-ত্রুটি বা ভর ঘাটতি বলে।

∴ ভর-ত্রুটি = উপাদানসমূহের মুক্তাবস্থার ভর – স্থায়ী নিউক্লিয়াসের ভর।

বা, $\Delta m = ZM_p + NM_n - M_{nuc}$ ————(5) [(1) নং অনুযায়ী]

বা, $\Delta m = ZM_p + (A - Z) M_n - M_{nuc}$ ———(6) [(2) নং অনুযায়ী]

আবার—

$\Delta m = (ZM_p + NM_n) - M_{nuc}$

বা, $\Delta m = (ZM_p + NM_n) - (M_{atm} - ZM_e)$ ————(7) [(3) নং ব্যবহার করে]

বা, $\Delta m = ZM_p + NM_n - M_{atm} + ZM_e$

বা, $\Delta m = ZM_p + ZM_e + NM_n - M_{atm}$

বা, $\Delta m = Z(M_p + M_e) + NM_n - M_{atm}$

বা, $\Delta m = ZM_H + NM_n - M_{atm}$ ——————(8) [(4) নং ব্যবহার করে]

উপরোক্ত (5), (6), (7) ও (8) নং সমীকরণ'ই হলো ভরত্রুটির রাশিমালা।

নিউক্লিয়াস গঠিত হবার মুহূর্তে এই হারানো ভর, শক্তি হিসেবে বিকিরিত হয় এবং এই শক্তি নিউক্লিয়াস গঠনকালে বন্ধন শক্তির পরিমাপের সমান।

বন্ধন শক্তি (Binding energy)

বন্ধন শক্তি এর দুইটি সংজ্ঞা দেয়া যায়—

1. কোনো প্রয়োজনীয় সংখ্যক নিউক্লিয়ন একত্রিত হয়ে একটি স্থায়ী নিউক্লিয়াস গঠন করতে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত বা শোষিত হয় তাকে নিউক্লীয় বন্ধন শক্তি বলে।

2. কোনো নিউক্লিয়াসকে ভেঙে এর নিউক্লিয়নগুলোকে পরস্পরের প্রভাব হতে মুক্ত করতে নিউক্লিয়াসকে বাইরে থেকে যে পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হয় তাকে বন্ধন শক্তি বলে।

বন্ধন শক্তিকে B.E বা E_B দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

নিউক্লিয়নগুলোকে একত্রকারী সবল নিউক্লীয় বলের ক্রিয়া হতে নিউক্লীয় বন্ধন শক্তি উদ্ভূত হয় এবং এটা নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্বের জন্য দায়ী। বন্ধন শক্তি বেশি হলে নিউক্লিয়াস অধিকতর স্থায়ী হয়।

বন্ধন শক্তির রাশিমালা

মনে করি নিউক্লিয়াসের ভর-ত্রুটি ও আলোর বেগ যথাক্রমে Δm ও c এবং বন্ধনশক্তি E_B হলে আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ব হতে পাই—

$E_B = \Delta mc^2$

বা, $E_B = (ZM_p + NM_n - M_{nuc})\, c^2$ ----------------(9) [(5) নং ব্যবহার করে]

বা, $E_B = \{ZM_p + (A - Z)\, M_n - M_{nuc}\}\, c^2$ ----------(10) [(6) নং ব্যবহার করে]

বা, $E_B = \{(ZM_p + NM_n) - (M_{atm} - ZM_e)\}\, c^2$ -------(11) [(7) নং ব্যবহার করে]

বা, $E_B = (ZM_H + NM_n - M_{atm})\, c^2$ ----------------(12) [(8) নং ব্যবহার করে]

উপরোক্ত (9), (10), (11) ও (12) নং সমীকরণ'ই হলো বন্ধন শক্তির রাশিমালা।

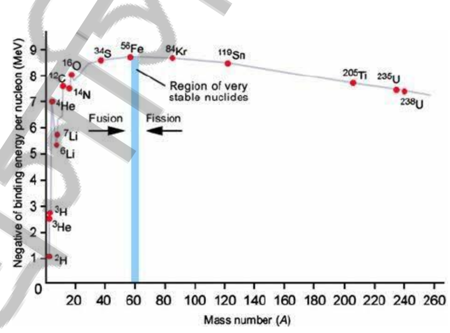
প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি (Binding Energy per Nucleon) বা গড় বন্ধন শক্তি

সংজ্ঞা: কোনো নিউক্লিয়াসের মোট বন্ধন শক্তি এবং ভর সংখ্যার অনুপাতকে প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি বা গড় বন্ধন শক্তি বলা হয়।

∴ গড় বন্ধন শক্তি = মোট বন্ধন শক্তি / ভর সংখ্যা

কোনো নিউক্লিয়াসের গড় বন্ধন শক্তি এর ভর সংখ্যার ওপর নির্ভর করে। ভর সংখ্যার পরিবর্তনে গড় বন্ধন শক্তি পরিবর্তিত হয়।

গড় বন্ধন শক্তি ও নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্ব



ভর সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে গড় বন্ধন শক্তি প্রথমে দ্রুত বৃদ্ধি পায়। কিছু কিছু নিউক্লিয়াস যেমন, ^4He, ^{12}C ও ^{16}O এর মান তুলনামূলক ভাবে বেশি। অতএব, এই নিউক্লিয়াস গুলো আশেপাশের নিউক্লিয়াস গুলোর তুলনায় বেশি স্থায়ী। পর্যায় সারণির মধ্যবর্তী স্থানে অবস্থিত মৌলগুলির (50<A<40) নিউক্লিয়াস গুলো সবচেয়ে সুস্থিত। কেননা এদের নিউক্লিয়াস থেকে একটি নিউক্লিয়ন বিচ্ছিন্ন করতে অনেক বেশি শক্তির প্রয়োজন হয়। লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে এই অঞ্চলের নিউক্লিয়াস গুলোর গড় বন্ধন শক্তি প্রায় 8.5 MeV। ^{56}Fe এর ক্ষেত্রে এর মান হলে 8.8 MeV; যা সর্বোচ্চ। সুতরাং বলা যায় লোহা (^{56}Fe) সর্বাধিক স্থায়ী নিউক্লিয়াস গুলোর অন্যতম। অত্যন্ত হাল্কা (A < 20) এবং ভারী (A > 100) নিউক্লিয়াসের গড় বন্ধন শক্তির মান কম। তাই ভারী নিউক্লিয়াস (A > 200) বিভাজিত হয়ে এবং হাল্কা নিউক্লিয়াস সংযোজিত হয়ে স্থায়ী নিউক্লিয়াসে পরিণত হতে সচেষ্ট হয়। এ কারণেই ইউরোনিয়াম নিউক্লিয়াসের ফিশান এবং হাইড্রোজেন বা এর আইসোটোপ গুলোর নিউক্লিয়াসের ফিউশন তুলনামূলকভাবে সহজ।

নিউক্লীয় বিক্রিয়া (Nuclear Reaction)

সংজ্ঞা: কৃত্রিম উপায়ে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটিয়ে নতুন মৌল গঠন করার প্রক্রিয়াকে নিউক্লীয় বিক্রিয়া বলে। নিউক্লীয় বিক্রিয়া হলো একটি নিউক্লীয় ঘটনা।

তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নিঃসৃত আলফা কণা ($_2He^{2+}$) এর সাহায্যে রাদারফোর্ড সর্বপ্রথম নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াস ভাঙতে সক্ষম হন। কৃত্রিম উপায়ে একটি নিউক্লিয়াস ফিশান ঘটিয়ে অন্য একটি নিউক্লিয়াস সৃষ্টির এটিই প্রথম ঘটনা। এটিই হচ্ছে প্রথম নিউক্লীয় বিক্রিয়া (Nuclear Reaction)। নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াসে যে বিক্রিয়া ঘটে তা নিম্নরূপ—

$$^{14}N + {}^{4}He \rightarrow {}^{17}O + p$$

পরবর্তীকালে এস. ডি কক্রফট এবং ই. টি. এস ওয়ালটন কৃত্রিমভাবে ত্বরান্বিত (ত্বরণে গতিশীল) প্রোটন কণিকার সাহায্যে নিম্নলিখিত বিক্রিয়া ঘটান—

$$^{7}Li + p \rightarrow He + \alpha$$

পরবর্তী সময়ে আলফা কণিকা, নিউট্রন কণিকা ও অন্যান্য কণিকা ব্যবহার করে অনেক নিউক্লীয় বিক্রিয়া পর্যবেক্ষণ করা হয়েছে এবং নিউক্লিয়াসের গঠন, অভ্যন্তরীণ বিন্যাস, প্রকৃতি ইত্যাদি সম্পর্কে গুরুত্বপূর্ণ তথ্য আহরণ করা সম্ভব হয়েছে।

একটি নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় নিম্নলিখিত ভৌত রাশি (Physical quantities) সংরক্ষিত হয়। যথা—

- নিউক্লিয়ন সংখ্যা (Nucleon number)
- তড়িৎ আধান (Electric charge)
- সামগ্রিক ভরশক্তি (Total mass-energy)
- রৈখিক ভরবেগ (Linear momentum)
- কৌণিক ভরবেগ (Angular momentum)
- আইসোটোপিক স্পিন (Isotopic spin) এবং
- সমতা (Parity)

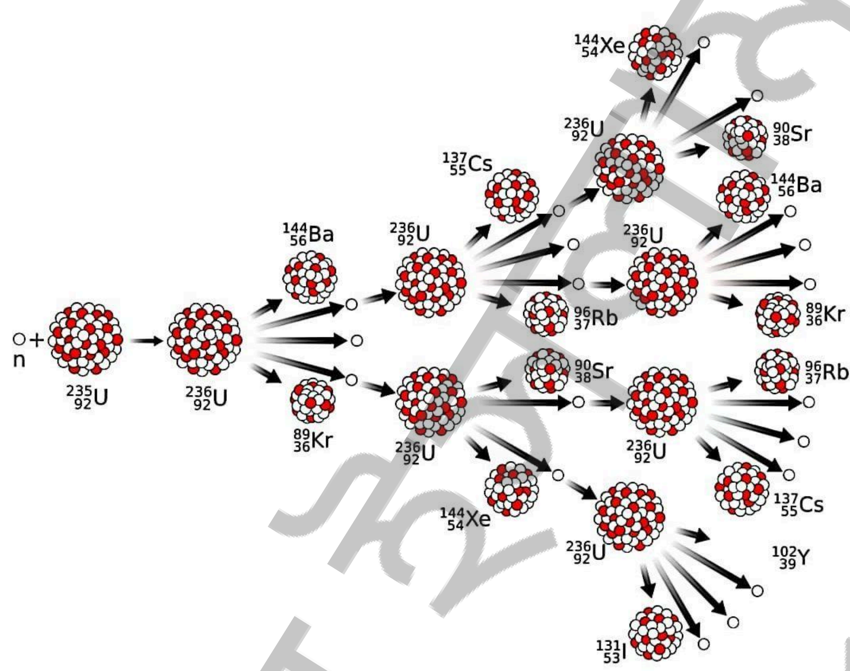
রাসায়নিক বিক্রিয়া ও নিউক্লীয় বিক্রিয়ার পার্থক্য

রাসায়নিক বিক্রিয়া	নিউক্লিয় বিক্রিয়া
রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষপথের ইলেকট্রন অংশগ্রহণ করে।	নিউক্লিয় বিক্রিয়া সরাসরি পরমাণুর নিউক্লিয়াসে সংঘটিত হয়।
রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে নতুন কোনো পরমাণু উৎপন্ন হয় না।	নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় পরমাণুর নিউক্লিয়াস পরিবর্তিত হয়ে নতুন মৌলের পরমাণু সৃষ্টি হয়।
রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সংশ্লিষ্ট শক্তি খুব কম, মাত্র eV (electro volt) ক্রমের।	নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় শক্তির পরিমাণ অনেক বেশি, MeV (Mega electro volt) ক্রমের।

শৃঙ্খল বা শিকল বা চেইন বিক্রিয়া (Chain Reaction)

সংজ্ঞা: যেসব বিক্রিয়া একবার শুরু হলে স্বয়ংক্রিয় ভাবে চলতে থাকে এবং শক্তিনির্গত করে থাকে তাকে চেইন বিক্রিয়া বলে। চেইন বিক্রিয়া দুই প্রকার। যথা–

1. নিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়া (Controlled chain reaction)
2. অনিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়া (Uncontrolled chain reaction)



অনিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়ায় এক সেকেণ্ডের লক্ষ ভাগের এক ভাগ সময়ের মধ্যে ফিশান বিক্রিয়া হাজার গুণ বৃদ্ধি পেতে পারে।

নিউক্লিয় শক্তি

পরমাণুর নিউক্লিয়াস ভেঙ্গে যদি কোনো নতুন নিউক্লিয়াস উৎপন্ন হয় কিংবা দুটি পরমাণুর নিউক্লিয়াস যদি সংযুক্ত হয়ে যদি একটি নিউক্লিয়াস গঠন করে তবে কিছু পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয়। একে নিউক্লিয় শক্তি বলে।

নিউক্লিয় শক্তি উৎপাদন প্রক্রিয়া

নিউক্লিয় শক্তি দুই পদ্ধতিতে উৎপাদন করা যায়। যথা—

1. নিউক্লিউ ফিউশন বা নিউক্লিয়াসের সংযোজন
2. নিউক্লিউ ফিশান বা নিউক্লিয়াসের বিভাজন

নিউক্লীয় ফিউশন (Nuclear fusion)

সংজ্ঞা: যে নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় একাধিক হালকা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে একটি অপেক্ষাকৃত ভারী নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং অত্যধিক শক্তি নির্গত হয়, তাকে নিউক্লীয় ফিউশন বা নিউক্লীয় সংযোজন বলে।

ফিউশন অত্যধিক উচ্চ তাপমাত্রায় সংঘটিত হয় বলে এই বিক্রিয়াকে তাপ-নিউক্লীয় বিক্রিয়া (Thermonuclear reaction) বলে। এই তাপমাত্রার মান প্রায় 10^{8} °C। ফিউশনে হাইড্রোজেন আইসোটোপ ডিউটেরন বা ডিউটেরিয়াম (^{2}H বা ^{2}D), ট্রাইটিয়াম বা ট্রাইটন (^{3}H) ব্যবহার করা হয়। যখন 800 km/s বেগ সম্পন্ন ট্রাইটিয়াম নিউক্লিয়াসের সঙ্গে ডিউটেরিয়াম নিউক্লিয়াসের সংঘর্ষ ঘটে, তখন ফিউশন প্রক্রিয়ায় হিলিয়াম নিউক্লিয়াস গঠিত হয়। এবং এর সঙ্গে প্রচণ্ড শক্তি বিমুক্ত হয়।

$$^{1}_{1}H + ^{3}_{1}H \xrightarrow{\text{ফিউশন}} ^{3}_{2}He + \gamma + \text{শক্তি}$$

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \xrightarrow{\text{ফিউশন}} ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + \text{শক্তি}$$

এই ধরনের প্রতিটি ফিউশন বিক্রিয়ায় 17.6 MeV (Mega electro volt) শক্তি বিমুক্ত হয়। সূর্যের ভিতরে ফিউশন বিক্রিয়া সংঘটিত হচ্ছে এবং প্রচুর শক্তি উৎপন্ন হচ্ছে, যার খুবই সামান্য অংশ আমাদের পৃথিবী পৃষ্ঠে আসে।

ফিউশন বিক্রিয়ায় দুটি নিউক্লিয়াসের সংযোগের ফলে একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস উৎপন্ন হয়। নিউক্লিয় ফিউশনের ক্ষেত্রে উৎপন্ন নিউক্লিয়াসগুলোর মোট ভর প্রারম্ভিক নিউক্লিয়াসগুলোর মোট ভর অপেক্ষা কম হয়। অর্থাৎ ফিউশনের ফলে ভরের হ্রাস ঘটে। হারানো ভর শক্তিতে পরিণত হয়। নিউক্লিয়াসগুলো ধনাত্মক আধানবিশিষ্ট হওয়ায় দুটি নিউক্লিয়াসের ফিউশন বিক্রিয়া ঘটাতে হলে নিউক্লিয়াস দুটিকে উচ্চ গতির অধিকারি হতে হয়, যাতে করে এর বিকর্ষণ বলের প্রভাব অতিক্রম করতে পারে। নিউক্লিয় ফিউশন নীতির উপর ভিত্তি করে হাইড্রোজেন বোমা তৈরি করা হয়।

সূর্য ও নক্ষত্রসমূহের শক্তি

নিউক্লীয় ফিউশন বিক্রিয়ার মাধ্যমে সূর্য ও নক্ষত্রসমূহের অভ্যন্তরে শক্তি উৎপন্ন হয়। এদের নিউক্লীয় অঞ্চলের কয়েক কোটি সেলসিয়াস ডিগ্রি তাপমাত্রা এই ধরনের নিউক্লীয় ফিউশনের জন্য উপযোগী। বিজ্ঞানীদের নিকট বর্তমানে স্বীকৃত তত্ব হলো এরূপ যে সূর্যের অভ্যন্তরে কয়েকটি ধাপে নিউক্লীয় ফিউশন বিক্রিয়ার একটি চক্র সম্পূর্ণ হয়। প্রতিটি চক্রে চারটি প্রোটনের নিউক্লীয় ফিউশনের ফলে একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ও দুটি পজিট্রন উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ—

$$^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H \xrightarrow{\text{ফিউশান}} ^{4}_{2}He + 2\,^{0}_{1}e^{+}$$

নিউক্লীয় ফিশান (Nuclear fission)

সংজ্ঞা: যে নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় ভারী পরমাণুর নিউক্লিয়াস বিশ্লিষ্ট হয়ে প্রায় সমান ভরের দুটি ভিন্ন নিউক্লিয়াস তৈরি হয় এবং বিপুল পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়, তাকে নিউক্লীয় ফিশান বা নিউক্লিয়ার বিভাজন বলে।

উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে, ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসকে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন নিউট্রন, প্রোটন বা ডিউটেরিয়াম দ্বারা আঘাত করলে নিউক্লিয়াসের ফিশান ঘটে।

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n^{1} \rightarrow [^{235}_{92}U]^{+} \xrightarrow{\text{ফিশান}} ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n^{1} + 200\text{ MeV শক্তি}$$

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n^{1} \rightarrow [^{235}_{92}U]^{+} \xrightarrow{\text{ফিশান}} ^{144}_{56}Ba + ^{90}_{36}Kr + 2\,^{1}_{0}n^{1} + 200\text{ MeV শক্তি}$$

অর্থাৎ ইউরেনিয়াম (^{235}U) কে তাপীয় নিউট্রন দ্বারা আঘাত করায় এটি নিউট্রনকে আটক করে অস্থায়ী যৌগিক নিউক্লিয়াস $[^{235}U]^{+}$ এ পরিণত হয় যার স্থায়িত্বকাল 10^{-12} সেকেন্ড। এই অস্থায়ী নিউক্লিয়াস ফিশান প্রক্রিয়ায় বিভাজিত হয়ে বেরিয়াম ও ক্রিপটন নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং 1টি হতে 3টি দ্রুতগতিসম্পন্ন নিউট্রন সৃষ্টি হয়। এই নিউট্রনগুলোর আরও ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসে ফিশান ঘটে। এরূপ ধারাবাহিকভাবে ফিশন প্রক্রিয়া চলতে থাকে। ^{235}U নিউক্লিয়াসকে নিউট্রন দ্বারা আঘাত করলে শুধু উপরোক্ত বিক্রিয়াই সংঘটিত হয় না। বরং বহু ধরনের বিক্রিয়া ঘটে। যেমন—

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n^{1} \rightarrow [^{235}_{92}U]^{+} \xrightarrow{\text{ফিশান}} ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{54}Sr + 2\,^{1}_{0}n + 200\text{ MeV শক্তি}$$

এক্ষেত্রে 1টি হতে 2টি নিউট্রন সৃষ্টি হয়। কোনো কোনো বিক্রিয়ায় 5টি পর্যন্ত নিউট্রন সৃষ্টি হয়। প্রতি ফিশনে গড়ে 2.5 সংখ্যক নিউট্রন সৃষ্টি হয়।

প্রতিটি ফিশানে প্রায় 200 MeV (Mega electro volt) শক্তি উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ না করতে পারলে আণবিক বোমার বিস্ফোরণে রুপ নিবে। আর নিয়ন্ত্রণ করতে পারলে তা হবে আণবিক চুল্লীতে সংঘটিত নিয়ন্ত্রিত ফিশন বিক্রিয়া। যার মাধ্যমে টারবাইনের সাহায্যে জেনারেটর থেকে বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা হয়। বাংলাদেশের পাবনার রূপপুর আণবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রেও এই প্রক্রিয়ায় বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা হবে।

1934 খ্রিস্টাব্দে ফিশান প্রক্রিয়ার আবিষ্কার শুরু করেন বিজ্ঞানী ফার্মি। কিন্তু পরবর্তীতে 1939 খ্রিস্টাব্দে এই প্রক্রিয়া চূড়ান্তভাবে আবিস্কার করেন জার্মান বিজ্ঞানী অটোহান এবং তার দুজন সহযোগী স্ট্রেসম্যান ও মাইট্রার।

১৯৪৫ সালে ‘ম্যানহটান প্রজেক্ট’- এর আওতায় নিউ মেক্সিকোর মরু এলাকায় প্রথম পারমাণবিক বোমার বিস্ফোরণ ঘটানো হয়। ম্যানহাটান প্রজেক্টের তত্ত্বধায়ক ছিলেন এনরিকো ফার্মি এবং প্রধান বিজ্ঞানী ছিলেন ওপেন হাইমার। ওপেন হাইমারকে পারমাণবিক বোমার আবিষ্কারক বলা হয়।

ইলেক্ট্রো ভোল্ট (eV)

দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য 1 volt হলে এবং একটি ইলেক্ট্রন এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে গতিশীল হলে যে শক্তি লাভ করে তাকে এক ইলেক্ট্রো ভোল্ট (eV) বা 1 eV বলে।

কাজ বা শক্তির একটি একক হলো eV। সাধারণত পারমাণবিক ও নিউক্লিয় পদার্থবিদ্যায় শক্তির এই একক ব্যবহার করা হয়।

$1\ \text{MeV} = 10^{6}\ \text{eV}$
$1\ \text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$
$1\ \text{MeV} = 1.6 \times 10^{-13}\ \text{J}$

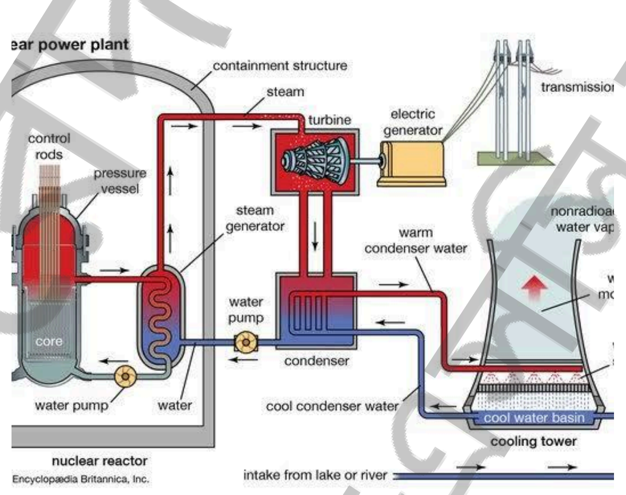
নিউক্লিয় ফিউশন ও ফিশানের মধ্যে পার্থক্য

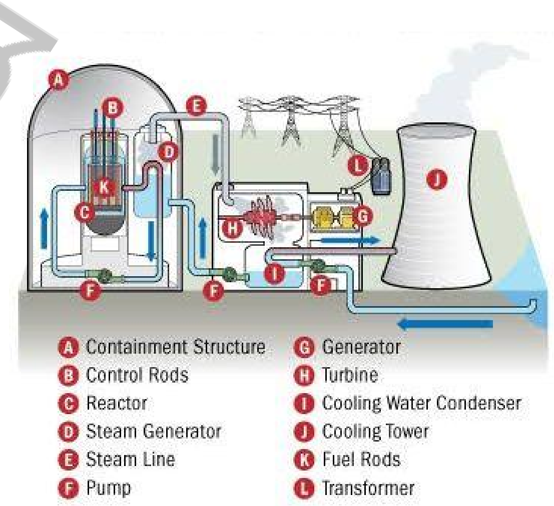
নিউক্লিয় ফিউশন	নিউক্লিয় ফিশান
নিউক্লিয় ফিউশন বিক্রিয়ায় দুটি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে অপেক্ষাকৃত বড় নিউক্লিয়াস গঠন করে।	নিউক্লিয় ফিশান বিক্রিয়ায় একটি অতি বৃহৎ নিউক্লিয়াস, দুটি প্রায় কাছাকাছি ভর বিশিষ্ট নিউক্লিয়াসে বিভক্ত হয়।
নিউক্লিয় ফিউশন বিক্রিয়া চেইন বিক্রিয়া নয়।	নিউক্লিয় ফিশান বিক্রিয়া হলো চেইন বা শিকল বিক্রিয়া; যা অনবরত চলতে থাকে।
অত্যাধিক উষ্চ তাপমাত্রায় ($10^{7} \sim 10^{8}$ K) ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াস কে উত্তপ্ত করে ফিউশন বিক্রিয়া ঘটানো হয়।	বৃহৎ নিউক্লিয়াসকে নিউট্রন দ্বারা আঘাত করে বিক্রিয়ার সূচনা ঘটানো হয়।
ফিশান বিক্রিয়ার তুলনায় নিউক্লিয় ফিউশনে অনেক বেশি তাপশক্তি নির্গত হয়।	নিউক্লিয় ফিশান বিক্রিয়ায় বিপুল তাপশক্তি নির্গত হয়।
নিউক্লিয় ফিউশন বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব হয় নি।	পারমাণবিক চুল্লীতে নিউক্লিয় ফিশান বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রিত করে বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন করা সম্ভব।
নিউক্লিয় ফিউশন বিক্রিয়ায় কোনো নিউক্লিয় বর্জ্য পদার্থ অবশিষ্ট থাকে না।	নিউক্লিয় ফিশান বিক্রিয়ায় প্রচুর নিউক্লিয় বর্জ্য পদার্থ অবশিষ্ট থাকে।

পারমাণবিক চুল্লি বা নিউক্লীয় চুল্লি (nuclear reactor)

সংজ্ঞা: যে যন্ত্রে নিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়া ঘটিয়ে বিপুল পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায় তাকে পারমাণবিক চুল্লি বা নিউক্লীয় চুল্লি বলে।

পারমাণবিক চুল্লিতে মূলত ^{235}U ব্যবহার করা হয়। প্রকৃতিতে প্রাপ্ত ইউরেনিয়ামের মধ্যে ^{238}U ও ^{235}U প্রায় 142 : 1 অনুপাতে থাকে। প্রাকৃতিক ইউরেনিয়ামের মধ্য দিয়ে তাপীয় নিউট্রন (Thermal neutron) পাঠালে ^{235}U এর বিভাজন হয়। পক্ষান্তরে ^{238}U নিউট্রনকে শোষণ করে। তাই চেইন বিক্রিয়া চালু রাখার জন্য প্রাকৃতিক ইউরিনিয়াম নমুনায় ^{235}U এর অনুপাত বেড়ে যায়। এই ধরনের ইউরেনিয়ামকে সমৃদ্ধ (enriched) ইউরেনিয়াম বলে।





চিত্রে একটি নিউক্লীয় চুল্লির সংশ্লিষ্ট যন্ত্রাদির নকশা দেখানো হয়েছে। চিত্রে প্রদর্শিত মজ্জা বা কোর (core)-এর মধ্যে জ্বালানি দণ্ড (এক্ষেত্রে ইউরেনিয়াম), মডারেটর, নিয়ন্ত্রক দণ্ড ও শীতলকারক পদার্থ (coolant) বা শীতক থাকে। দ্রুতগতিসম্পন্ন নিউট্রনগুলিকে মন্দীভূত করার জন্য মডারেটর ব্যবহার করা হয়। মডারেটর হিসেবে ভারী পানি (heavy water), গ্রাফাইট ইত্যাদি ব্যবহার করা হয়। চেইন বিক্রিয়া শুরু, বন্ধ বা নিয়ন্ত্রণ করার জন্য নিয়ন্ত্রক দণ্ড ব্যবহার করা হয়। ক্যাডমিয়াম বা বোরন দণ্ড নিয়ন্ত্রক দণ্ড হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

পারমাণবিক চুল্লির কার্যনীতি

^{235}U এর জ্বালানি দণ্ড, তাপীয় নিউট্রনের আঘাতে বিভাজিত হয়ে উচ্চ বেগসম্পন্ন গৌণ নিউট্রন উৎপন্ন হয়। গৌণ নিউট্রন উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে সাধারণত মডারেটর দ্বারা মন্দীভূত হয়ে পরবর্তী নিউক্লীয় বিভাজনের জন্য তৈরি হয়। ভারী পানি নিউট্রনকে শোষণ করে না, তবে নিউট্রনের শক্তি শোষণ করে। প্রয়োজনমতো নিউট্রনকে শোষণ করার কাজে ক্যাডমিয়াম দণ্ডের সেট ব্যবহার করা হয়। ক্যাডমিয়াম দণ্ডগুলি ওপরে নিচে চলাচলের মাধ্যমে নিউট্রনের নিয়ন্ত্রক হিসেবে কাজ করে। মজ্জার অভ্যন্তরস্থ স্থানে উৎপন্ন উচ্চ তাপকে মজ্জার বাহিরে এনে ওই তাপশক্তিকে তাপ বিনিময় যন্ত্রের সাহায্যে কাজে লাগিয়ে পানিকে বাষ্পে পরিণত করা হয়। টারবাইন ঘুরানোর জন্য মাধ্যমে বিদ্যুৎশক্তি উৎপন্ন করা হয়। আবার উচ্চ চাপের অধীনে পানিকে শীতলকারক হিসেবে মজ্জার মধ্যে পাঠানো হয়। এর ফলে মজ্জার তাপমাত্রাও নিয়ন্ত্রণে থাকে। নিরাপত্তাজনিত কোনো কারণে নিউক্লীয় চুল্লি বন্ধ করার জন্য অতিরিক্ত ক্যাডমিয়াম দণ্ডের সেট রাখা হয় যা প্রয়োজনে ব্যবহার করা হয়।

স্থির বা নিশ্চল ভর (Rest mass)

সংজ্ঞা: স্থির অবস্থায় বস্তুর ভরকে স্থির বা নিশ্চল ভর বলে।

আপেক্ষিক তত্ত্বানুসারে বস্তুর ভর তার বেগের সাথে পরিবর্তিত হয়। বস্তুর গতিবেগ আলোর বেগের কাছাকাছি হলে ভর উল্লেখযোগ্য ভাবে বৃদ্ধি পায়।

আপেক্ষিক ভর (Relative mass)

সংজ্ঞা: কোনো প্রসঙ্গ-কাঠামো (reference frame) থেকে স্থির পর্যবেক্ষক বস্তুর যে ভর পরিমাপ করেন তা বস্তুটির আপেক্ষিক ভর। এই ভরটি ঐ প্রসঙ্গ কাঠামো সাপেক্ষে ঐ বস্তুর ভরের উপর নির্ভর করে।

নিশ্চল ভর সৃষ্টি হয় বস্তু আর হিগস ক্ষেত্রের হিগস কণার সংঘাত থেকে। আর আপেক্ষিক ভর সৃষ্টি হয় নিশ্চল ভর ও মৌলিক কণার গতি থেকে। প্রতিটি পরমাণুতে কণা গুলো কম্পমান। এই কম্পনের উপরেও ভর নির্ভর করে। সাধারণত ভরকে m দ্বারা প্রকাশ করা হয়, তবে একইসাথে স্থির ভর ও আপেক্ষিক ভর দু'টোই উল্ল্যেখ থাকলে এদেরকে যথাক্রমে m_0 এবং m দ্বারা সনাক্ত করা হয়।

আপেক্ষিক ভর ও নিশ্চল ভরের সম্পর্ক

আপেক্ষিক ভর ও আলোর বেগ যথাক্রমে m ও c এবং m_0 নিশ্চল ভরবিশিষ্ট কোনো বস্তু v বেগে গতিশীল হলে আইস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ব হতে পাই—

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

ভরশক্তি সমীকরণ

কোনো বস্তু ভর এবং আলোর গতির বর্গকে গুণ করলে ঐ বস্তুর অন্তর্নিহিত শক্তির পরিমান পাওয়া যায়। ইহাকে ভরশক্তি সমীকরণ বলে।

ক্লাসিক্যাল পদার্থবিদ্যায় ভর ও শক্তি দুটি আলাদা হলেও আধুনিক পদার্থবিদ্যায় ভর হচ্ছে শক্তির'ই আরেক রূপ।

বিজ্ঞানী আইনস্টাইন এর ভর শক্তির সম্পর্ক হলো পদার্থবিজ্ঞানের কালজয়ী সূত্র। আইস্টাইন তার আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে এই বিষ্ময়কর সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্রকে ভর শক্তি রূপান্তরের সূত্র বলা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ—

$$E = mc^2$$

এখানে,

- E = বস্তুর অন্তর্নিহিত শক্তি।
- m = বস্তুর ভর।
- c = আলোর বেগ। শুন্যস্থানে এর মান $c = 3\times10^8$ m/s (প্রায়)

সূত্রটি পূর্ণাঙ্গ রূপ হচ্ছে, $E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$
যেখানে p হচ্ছে বস্তু বা কণার ভরবেগ।

পারমাণবিক ভর একক (Atomic mass unit or amu)

কোনো মৌলের একটি পরমাণুর প্রকৃত ভরকে যে এককে প্রকাশ করা হয়, তাকে পারমাণবিক ভর একক (amu) বলে। এর পূর্ণরূপ হলো Atomic mass unit. সাধারণত পারমাণবিক ও নিউক্লিয় পদার্থবিদ্যায় ভরের এই একক ব্যবহার করা হয়।

একটি পরমাণুর ভর খুবই নগণ্য। তাই পরমাণুর প্রকৃত ভর বিবেচনা করা হয় না। নিউক্লীয় পদার্থবিজ্ঞানে ভরের প্রচলিত একক হলো পারমাণবিক ভর একক (amu)। 1960 সাল থেকে ^{12}C (12 ভর বিশিষ্ট কার্বন) মৌলকে প্রমাণ মৌল ধরে এর সাহায্যে অন্য সকল মৌলের ভর নির্ণয় করা হয়।

এক পারমাণবিক ভর (1 amu) বলতে ^{12}C (12 ভর বিশিষ্ট কার্বন) পরমাণুর ভরের 1/12 অংশ বুঝায়।

$$1 \text{ amu} = 1.66057\times10^{-27} \text{ kg}$$

বা, $$1 \text{ amu} = 1.66057\times10^{-24} \text{ gm}$$

নিউট্রন, প্রোটন প্রভৃতি কণার ভর amu এককে প্রকাশ করা যায়। এই এককে প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে 1.007277 amu ও 1.008665 amu.

1 amu ভরের সমতুল্য শক্তি

ভরশক্তি সমীকরণ হতে পাই–

$$E = mc^2$$
$$= (1.66\times10^{-27}) \times (3\times10^8)^2$$
$$= 1.495\times10^{-10} \text{ J}$$
$$= 933.3 \times 10^6 \text{ eV}$$
$$= 933 \text{ MeV (প্রায়)}$$

এখানে,

$m = 1$ amu
$= 1.66\times10^{-27}$ kg

$c = 3\times10^8$ m/s

$E = ?$